



# **Naistenlahden voimalaitosverkon oikosulkuarvojen tarkastelu**

Heikki Väisänen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2013  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

HEIKKI VÄISÄNEN:

Naistenlahden voimalaitosverkon oikosulkuarvojen tarkastelu

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Toukokuu 2013

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Tampereen Energiantuotanto Oy:n Naistenlahden voimalaitokselle. Tampereen Energiantuotannon on tarkoitus löytää työtapaa, jolla oikosulkuarvoja on helppo laskea ja luovuttaa eteenpäin. Etenkin muutostöiden ja jo olemassa olevien kojeistojen oikosulkuarvojen tarkastelulle on suunnittelun tukena tarve.

Oikosulkuarvojen laskennan ja tarkastelun ohella tutustutaan teorian jälkeen potentiaalisimmaksi todettuun Neplan –ohjelmistoon. Tällä ohjelmistolla simuloidaan neljän eri kytkentätapauksen oikosulkulaskennat ja niitä verrataan käsin laskettuihin ominaisoikosulkuarvoihin.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Electrical Power Engineering

HEIKKI VÄISÄNEN:

Short-circuit calculation of Naistenlahti power plant

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 9 pages  
May 2013

---

This thesis was made for Tampereen Energiantuotanto Naistenlahti power plant. Tampere power production company wanted to explore the efficient ways to make short-circuit calculation easily. There's a need for supportive short-circuit tool to analyze the current and renewal network.

Aside of calculation and analysis the most potential calculation tool Neplan is introduced. With this program four different circuits were simulated and compared to hand made calculations.

---

Key words: short-circuit, neplan, simulation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NAISTENLAHDEN VOIMALAITOS.....	7
2.1	Voimalaitosverkko.....	8
3	TEORIA .....	9
3.1	Oikosulkuvirran laskeminen .....	9
3.2	Ominaisoikosulkuteho .....	10
3.3	Kaapelit ja kiskot .....	11
4	VERKOSTOLASKENTAOHJELMAT.....	13
4.1	Neplan.....	13
4.1.1	Oikosulkulaskenta.....	13
5	OIKOSULKULASKENNAT JA MALLINNUS.....	15
5.1	Tapaus 1 .....	15
5.1.1	Laskenta käsin.....	16
5.1.2	Mallinnus.....	17
5.2	Tapaus 2 .....	18
5.2.1	Laskenta käsin.....	19
5.2.2	Mallinnus.....	21
5.3	Tapaus 3 .....	22
5.3.1	Laskenta käsin.....	23
5.3.2	Mallinnus.....	24
5.4	Tapaus 4.....	25
5.4.1	Muuntajien rinnankytkentä .....	28
6	LOPPUSANAT .....	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET .....	33
	Liite 1. Muuntajien kilpitiedot.....	33
	Liite 2. NSL 1 Höyryturbiinin generaattorin tekniset tiedot .....	38
	Liite 3. Simuloinnin tulokset .....	40
	Liite 4. Naistenlahden voimalaitosverkon pääkaavio.....	41

## LYHENTEET

TET	Tampereen Energiantuotanto Oy
NSL 0	NSL 1 ja 2 yhdistys- ja käynnistyspiste
NSL 1	Naistenlahden voimalaitos 1
NSL 2	Naistenlahden voimalaitos 2
$I_k''$	alkuoikosulkuvirta
$S_k$	oikosulkuteho
$U_n$	nimellisjännite
$z_k$	oikosulkuimpedanssin suhteellinen arvo
$\underline{Z}_j$	kaapelin impedanssi
$r$	kaapelin tasavirtaresistanssi
$x$	kaapelin reaktanssi
$l$	kaapelin pituus
IEC	International Electrotechnical Commission
SQL	Structured Query Language

## 1 JOHDANTO

Tampereen Energiantuotanto Oy on Tampereen sähkölaitos-konserniin kuuluva yhtiö, joka omistaa Tampereella useita voima- ja kaukolämpölaitoksia, joista suurin on Naistenlahden voimalaitos.

Opinnäytetyön tarkoituksena on etsiä Tampereen Energiantuotanto Oy:n voimalaitosten oikosulkuarvojen selvittämiseksi työkalu, jonka käyttäminen on mahdollisimman mutkatonta, sekä tarkastella voimalaitosverkon oikosulkuarvoja kriittisissä pisteissä.

Naistenlahden voimalaitosverkon vanhaa laitekantaa uudistettaessa on suunnittelun lähtötietojen antamista varten tiedettävä syötön olosuhteet, liitäntäpisteiden lähtötiedot, ja laitteiston toimintakelpoisuus erilaisissa käyttötilanteissa.

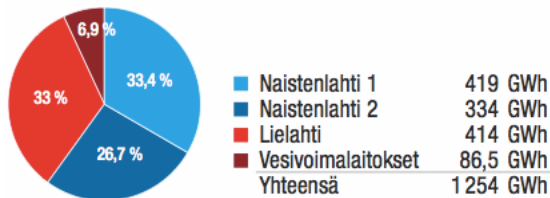
Opinnäytetyössä esiteltävät mallinnusohjelmistot ovat oiva apu uutta muutostyötä suunniteltaessa, sekä olemassa olevan laitteiston kestävyys tarkastelussa.

## 2 NAISTENLAHDEN VOIMALAITOS

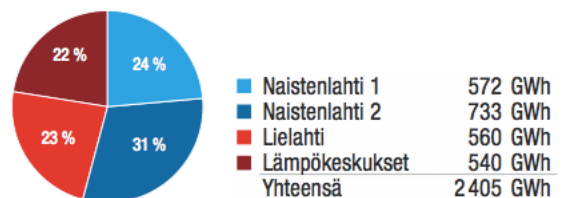
Naistenlahden voimalaitos käsittää kaksi voimalaitosyksikköä: NSL 1 ja NSL 2. Valmistuessaan vuonna 1971 käytti NSL 1 polttoaineenaan raskasöljyä, mutta vuonna 1982 laitos muutettiin turvevoimalaksi. Vuonna 1986 maakaasuverkon valmistuttua otettiin maakaasu käyttöön toiseksi polttoaineeksi. Vuonna 2000 NSL 1 modernisoitiin kombilaitokseksi, jonka pääpolttoaineena on maakaasu. NSL1 sähköteho on 129 MW ja lämpöteho 144 MW. (Lehtonen E. 2013)

Naistenlahti 2 valmistui vuonna 1977 pölypolttotekniikkaa käyttäväksi turvevoimalaitokseksi. Vuoden 1998 modernisoinnin myötä polttotekniikka vaihdettiin kerrosleijupolttotekniikaksi ja tästä lähtien polttoaineena on toiminut turve, puu, kaasu ja öljy, joista käynnistyspolttoaineena toimii öljy ja pääpolttoaineena jyrshinturve. NSL 2 sähköteho on 60 MW ja lämpöteho 120 MW. (Lehtonen E. 2013)

Sähköntuotanto voimalaitoksittain 2012 (brutto)

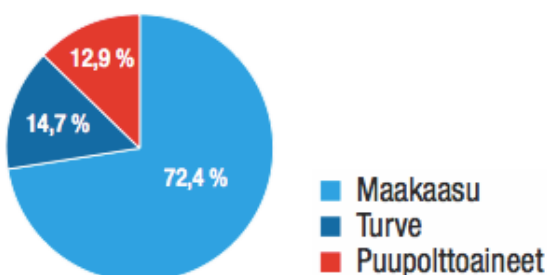


Kaukolämmön tuotanto 2012

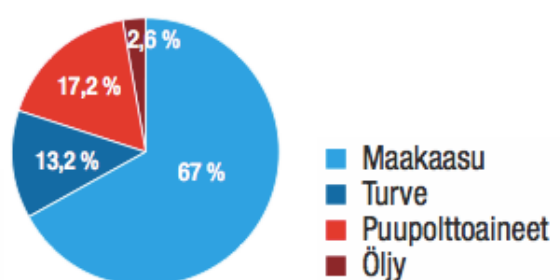


KUVIO 1. Sähkön- ja kaukolämmön tuotannon jakauma vuonna 2012 (Sähkölaitos 2012).

Sähköntuotannon polttoaineet



Kaukolämmöntuotannon polttoaineet



KUVIO 2. Sähkön- ja kaukolämmöntuotannon jakauma vuonna 2012 (Sähkölaitos 2012).

## 2.1 Voimalaitosverkko

Naistenlahden voimalaitosverkko voidaan jakaa kahteen osaan: blokki 1 ja blokki 2. Blokki 1 käsittää NSL 1 laitteiston ja liittyy Tampereen sähköverkkoon 110 kV kiskostosta ja 20 kV kiskostosta. Blokki 1 on kytketty mm. Suuritehoisia kaukolämpö- ja jäähdytysvesipumppuja, akusto, sekä höyry- ja kaasuturbiinin generaattorit. Blokki 1 on yhteydessä blokki 2:een kolmesta eri liityntäpisteestä: NSL 0 5 kV kojeiston, NSL2 varavoimakoneen ja 1-2 CG kojeiston kautta.

Blokki 2 käsittää NSL 2 laitteiston, joka pitää sisällään höyryturbiinin, useita suuritehoisia kaukolämpö- ja syöttövesipumppuja, sekä puhaltimia. Blokki 2 liittyy Tampereen sähköverkkoon 110 kV kiskoston, sekä käynnistys- ja seisokkitilanteissa NSL 0 kojeiston kautta 20 kV verkkoon.

Oikosulkulaskennan kannalta tässä opinnäytetyössä tarkastellaan NSL 1 höyryturbiinin generaattorin oikosulkutehoa ja -virtaa käyntitilanteessa, sekä NSL 2 puolelta kaukaisimpien keskuksien oikosulkutehoa ja -virtaa seisokkitilanteessa seuraavissa kohteissa: NSL 1 höyryturbiinin muuntajan toisio, turveaseman kiskosto 2CP, sähkösuodattimen kojeisto 2DL, sekä lastausaseman keskusta 4DD080. Naistenlahden voimalaitosverkon pääkaavio liitteessä 4.



### 3 TEORIA

Oikosulkuvirtojen hallinnalla on keskeinen merkitys teollisuuden sähköjakeluverkoissa, joissa etäisyydet ovat lyhyitä ja oikosulkuvirrat suuria. Tässäkin tapauksessa voimalaitosverkkoon on liitetty suuria muuntajia, generaattoreita ja paljon pyöriviä sähkömoottoreita, minkä takia oikosulkuvirrat pyrkivät kasvamaan suuriksi. Oikosulkuvirtojen tulisi kuitenkin olla mahdollisimman pieniä, jotta voitaisiin taata laitoksen turvallinen toiminta ja mahdolliset laitevauriot välttää. (Huotari & Partanen 1998, 1)

Voimalaitoksen sähköjakeluverkon kaikkien osien on kestettävä oikosulkuvirtojen termiset ja sähködynaamiset vaikutukset. Oikosulkuvirtojen määrittämisen ja oikosulkusuojauksen suunnittelua varten on tunnettava oikosulkuvirtojen suuruus verkon eri osissa. Suojauksen kannalta olisi tärkeä tuntea oikosulkuvirtojen suuruus nykyhetkellä erilaisissa syöttötilanteissa. Mitoituksessa taas tulisi oikosulkuvirtojen määrittämisessä otettava huomion tulevaisuudessa tapahtuva kehitys. (Huotari & Partanen 1998, 1)

Oikosulkujen aiheuttajana voi olla muun muassa: eristyksen vanheneminen ja mekaaninen haurastuminen, korjaus- ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä asetettujen maadoitusten unohtuminen paikalleen, ylijännitteen aiheuttama valokaari eristysvälin ylitse, mekaaninen vaurio, virheelliset käyttötoimenpiteet (tahdistus tai kuormitusvirran katkaiseminen erottimella), sekä ilkivalta. (Huotari & Partanen 1998, 1)

#### 3.1 Oikosulkuvirran laskeminen

Kun lasketaan likimääräisiä kolmivaiheverkon kolmivaiheista oikosulkuvirtaa on ominaisoikosulkutehoon perustuva laskentatapa helppokäyttöisin. Tämä menetelmä sopii hyvin säteittäisten verkkojen oikosulkutehojen käsin laskentaan ja oikosulkuvirtojen suuruusluokka-arviointiin. Jos halutaan laskea oikosulkuvirtoja tarkemmin, sekä saada selville myös vaihekulmat, on käytettävä Thevenin menetelmää. (Huotari & Partanen 1998, 8)

Seuraavaksi esitellään ominaisoikosulkutehoon perustuvan menetelmän periaate. Thevenin menetelmää ei tässä työssä käsitellä.

### 3.2 Ominaisoikosulkuteho

Ominaisoikosulkutehojen avulla voidaan määritellä likimääräisesti oikosulkuvirtoja. Oikosulkuteho on laskennallinen käsite, jossa täysi oikosulkuvirta ja nimellispääjännite vaikuttavat samanaikaisesti. Ominaisoikosulkuteho on teho, joka esiintyisi ko. komponentin jälkeen, elleivät muut virtapiirin osat rajoittaisi sitä. Yleisimmin lasketaan alkuoikosulkuvirta  $I'_k$  ja laskennassa huomioidaan vain reaktanssit. Resistanssien huomiointi jättämisestä seuraa, että sysäyskerrointa ei saada tarkasti. (ABB 2000)

Muuntajan ja generaattorin oikosulkuteho saadaan yhtälöstä

$$S_{kp} = \frac{U_n^2}{Z_k} \quad (1)$$

$$S_{kp} = \frac{S_n}{z_k} \sim \frac{S_n}{z_d} \quad (2)$$

jossa

$S_{kp}$  = ominaisoikosulkuteho

$U_n$  = laskettavan komponentin nimellispääjännite

$Z_k$  = laskettavan komponentin oikosulkuimpedanssi ohmeina vaihetta kohti

$S_n$  = laskettavan komponentin nimellisteho

$z_k$  = oikosulkuimpedanssin suhteellinen arvo

$z_d$  = generaattorin tahtireaktanssin suhteellinen lukuarvo

Oikosulkuteho  $S_k$  saadaan laskettua oikosulkuvirrasta kaavalla:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k \quad (3)$$

Rinnan kytkettyjen ominaisoikosulkutehojen kokonaisuikosulkuteho saadaan komponenttien ominaisoikosulkutehosta seuraavasti

$$S_k = S_{k1} + S_{k2} + S_{k3} + \dots + S_{kn} \quad (4)$$

Sarjaan kytkettyjen seuraavasti

$$\frac{1}{S_k} = \frac{1}{S_{k1}} + \frac{1}{S_{k2}} + \frac{1}{S_{k3}} + \dots + \frac{1}{S_{kn}} \quad (5)$$

Alkuoikosulkuvirta saadaan ominaisoikosulkutehosta yhtälöstä

$$I_k'' = \frac{1,1 \cdot S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (6)$$

jossa

1,1 = IEC 60909 standardin mukainen jännitekerroin taulukon 1 mukaan.

TAULUKKO 1. IEC 60909 mukainen jännitekerroin (ABB 2000)

Nimellisjännite $U_n$	Maksimioiko- sulkuvirta $C_{max}$	Minimioiko- sulkuvirta $C_{min}$
<b>pienjännite</b> 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	1.00 1.05	0.95 1.00
<b>keskijännite</b> 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
<b>suurjännite</b> 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

### 3.3 Kaapelit ja kiskot

Teollisuuden keskijänniteverkoissa kaapelipituudet ovat yleensä niin lyhyitä, että niiden vaikutus oikosulkupiirin impedanssiin on vähäinen. Tarvittaessa kaapeleiden resistanssi- ja reaktanssiarvot saadaan valmistajien luetteloista. Arvot on yleensä ilmoitettu pituusyksikköä kohti, jolloin kaapelin impedanssi  $\underline{Z}_j$  saadaan yhtälöllä 7. (Huotari & Partanen 1998)

$$\underline{Z}_j = (r + jx)l \quad (7)$$

jossa

$r$  = kaapelin tasavirtaresistanssi

$x$  = kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohti

$l$  = kaapeliyhteyden pituus

Kaapelin ominaisoikosulkuteho  $S_{kj}$  voidaan laskea kaapelin impedanssista seuraavasti

$$S_{kj} = \frac{U^2}{Z_j} \quad (8)$$

jossa

$U$  = jännitetaso

$Z_j$  = kaapelin impedanssi

Kiskostot taas vaihtelevat huomattavasti sekä rakenteeltaan että johdinmateriaaleiltaan. Yleisesti ne ovat pituudeltaan suhteellisen lyhyitä ja näin myös niiden impedanssit ovat hyvin pieniä suhteessa muihin oikosulkupiirin impedansseihin. Tämän takia kiskojen impedanssiarvoja ei tarvitse ottaa huomioon laskelmissa. (Huotari & Partanen 1998)

## 4 VERKOSTOLASKENTAOHJELMAT

Työssä esitellään verkon simulointiohjelmisto Neplan, joka katsottiin Tampereen Energiantuotanto Oy:n tarpeisiin parhaiten sopivaksi. Neplanin käyttö on helppoa ja mahdolliset simulointi- ja tukipalvelut on saatavana ABB:n Vaasan yksiköstä (Willman J. 2013).

Tampereen energiantuotannolla ohjelmisto tulisi ensisijaisesti oikosulkulaskentoja varten. Ohjelmistossa on kuitenkin laaja kirjo muita ominaisuuksia, jotka saadaan käyttöön lisenssiä laajentamalla.

### 4.1 Neplan

Neplan on Busarello+Cott+Partner Inc (BCP) Sveitsissä kehittämä täysin graafinen sähköverkoston analysointiohjelmisto. Käyttöliittymä, manuaalit, sekä online help ovat saatavilla viidellä eri kielellä: englanti, ranska, saksa, italia ja espanja. Ohjelma sisältää mm. Seuraavat moduulit: Tehonjakolaskenta, oikosulkulaskenta, transienttistabiilius, yliaaltolaskenta, moottorinkäynnistyslaskenta ja selektiivisyystarkastelu. (Neplan.ch)

Ohjelmaa käytetään maailmanlaajuisesti yli 90 maassa. Suomessa suurimpia käyttäjiä ovat ABB ja Outokumpu Engineering Espoo. (Willman J. 2013)

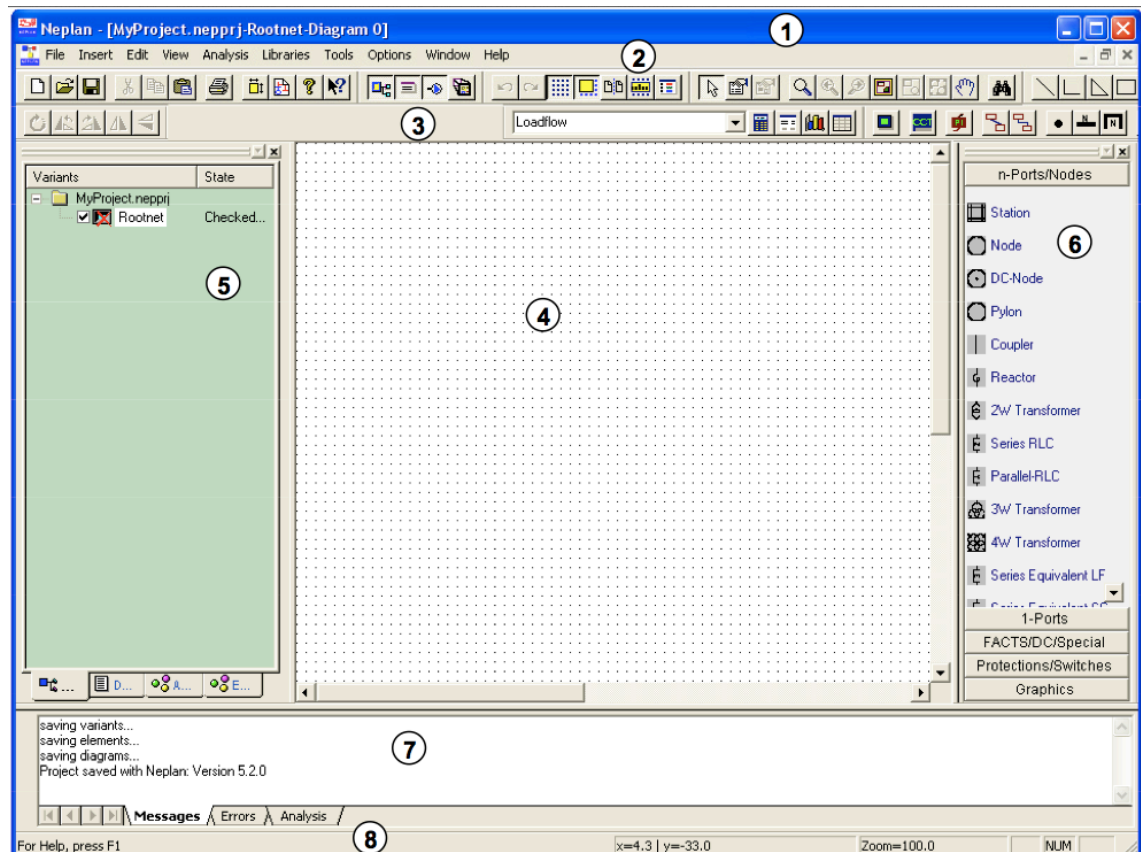
#### 4.1.1 Oikosulkulaskenta

Oikosulkulaskentamenetelmäksi voi valita joko standardin IEC 60909 tai superpositiomenetelmän. Kummassakin laskentatavassa käytetään samoja malleja kuin standardissa IEC 909, mutta superpositiomenetelmässä korjauskertoimia ei käytetä.

Oikosulkulaskentamoduulilla voidaan laskea kaksi- ja kolmivaiheisia oikosulkuvirtoja, sekä yksi ja kaksivaiheisia maasulkuvirtoja. Laskettavia vikavirtatyyppejä ovat: alkuoikosulkuvirta, sysäysoikosulkuvirta, jatkuva oikosulkuvirta, symmetrinen ja epäsymmet-

rinen katkaisuvirta, sekä tasavirtakomponentit. Tässä työssä tarkastellaan oikosulkuvirroista ainoastaan kolmivaiheista alkuoikosulkuvirtaa.

Tulokset Neplanissa näytetään laskennan jälkeen automaattisesti ja tulostusikkunat ovat käyttäjän muokattavissa. Valittu oikosulkupiste näytetään muusta verkosta värillä korostettuna. Tulokset voidaan tallentaa myös tekstitiedostona tai SQL-datatiedostona.



KUVA 1. Neplanin käyttöliittymä.

Kuvassa 1

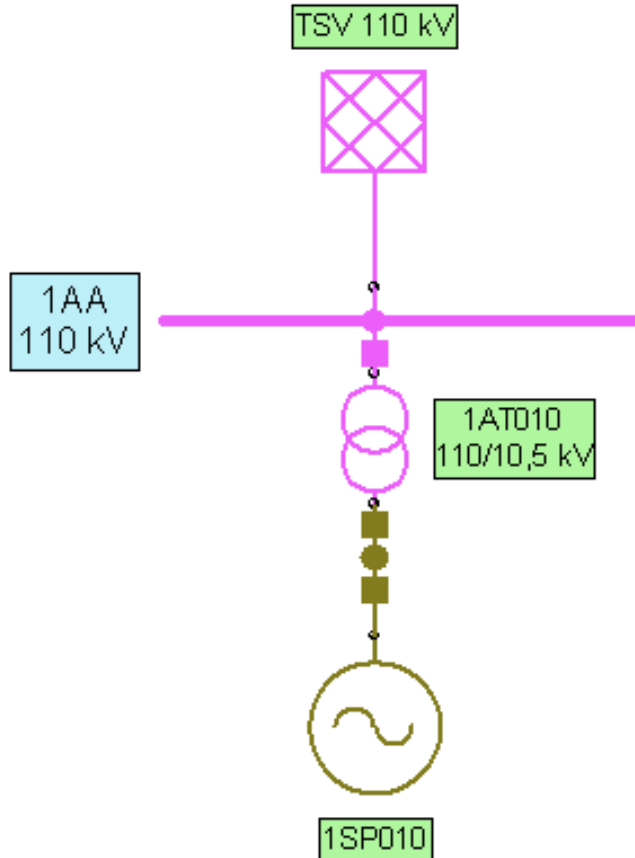
1. Otsikkopalkki
2. Valikkorivi
3. Työkalurivi
4. Työtila
5. Projektinäköymä
6. Symboli-ikkuna
7. Viesti-ikkuna
8. Toimintatilarivi

## 5 OIKOSULKULASKENNAT JA MALLINNUS

Seuraavissa kappaleissa lasketaan verkon pysyvän tilan ominaisoikosulkutehoja  $S_k$  ja alkuoikosulkuvirtoja  $I_k''$ . Laskennoissa ei ole huomioitu kaapeleiden vaikutusta oikosulkuarvoihin lyhyiden etäisyyksien takia, paitsi tapauksissa 2 ja 4, jossa johdinpituuudet ovat merkittävän pitkät. Koska laskentatapauksissa voimalaitos on seisokissa, ei laskennoissa ole otettu huomioon verkon muita pyöriviä koneita. Muuntajien kilpitiedot löytyvät liitteestä 1, generaattoreiden kilpitiedot liitteestä 2 ja voimalaitosverkon pääkaavio liitteestä 4.

### 5.1 Tapaus 1

Lasketaan NSL 1 höyryturbiinin generaattorin 1SP010 ja muuntajan 1AT010 toision ominaisoikosulkuarvot kun Tampereen sähköverkon oikosukuteho on ääretön.



KUVA 2. Tapaus 1.

### 5.1.1 Laskenta käsin

Syöttävän verkon oikosulkuteho tulee olla ääretön  $S_k'' = \infty$  MVA. Syöttävän verkon nimellisjännite on 118 kV. Tällöin syöttävän verkon oikosulkuvirta  $I_k'' = \infty$  kA.

Muuntajan 1AT010 nimellisteho  $S_n = 75$  MVA ja oikosulkuimpedanssi  $z_k = 10$  %, joten oikosulkuteho  $S_{kpt}$  on

$$S_{kpt} = \frac{S_n}{z_k} = \frac{75 \text{ MVA}}{0,10} = 750 \text{ MVA}$$

Laskentapistestä tarkasteltuna muuntaja ja syöttävä verkko ovat sarjassa, joten oikosulkuteho  $S_{k1AT010}$  muuntajan toiosiossa on

$$\frac{1}{S_{k1AT010}} = \frac{1}{S_k} + \frac{1}{S_{kpt}} \rightarrow S_{k1AT010} = 750 \text{ MVA}$$

Lasketaan generaattorin 1SP010 ominaisoikosulkuteho  $S_{kpg}'$ . Generaattorin ominaisoikosulkutehoa laskettaessa käytetään alkureaktanssin suhteellista arvoa  $X_d'' = 0,18$ . Generaattorin nimellisteho  $S_n = 72$  MVA ja nimellisjännite  $U_n = 10,5$  kV.

$$S_{kpg}'' = \frac{S_n}{X_d''} = \frac{72 \text{ MVA}}{0,18} = 400 \text{ MVA}$$

Jotta oikosulkupisteeseen saadaan myös generaattorin vaikuttava oikosulkuteho, lisätään se syöttävän verkon kautta tulevaan (muuntajan toiosion) oikosulkutehoon.

$$S_k = S_{kAT010} + S_{kpg} = 1150 \text{ MVA}$$

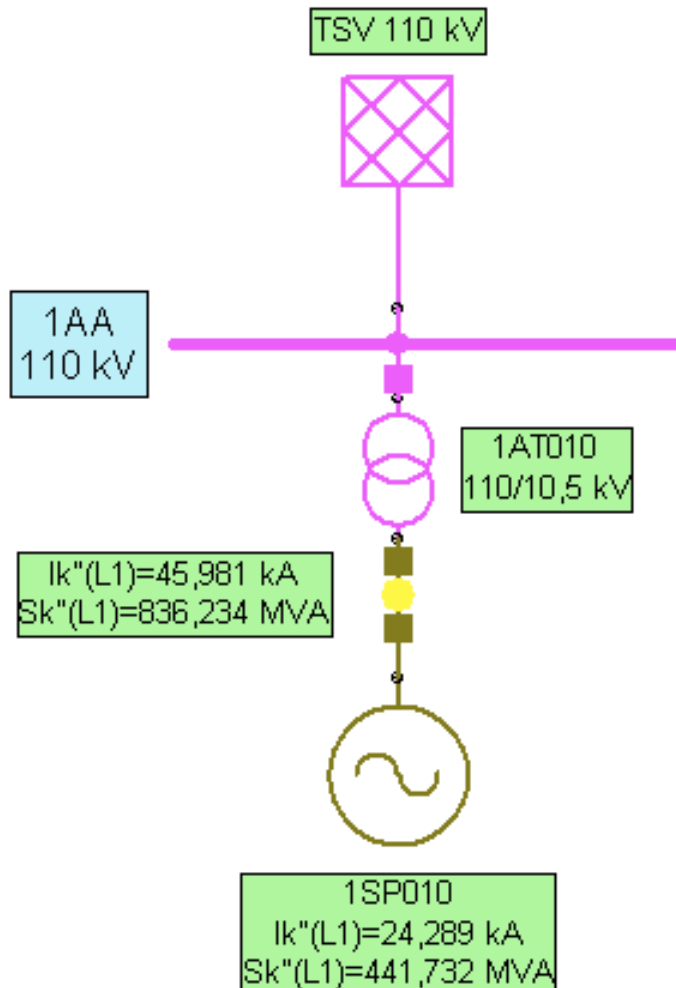
Tällöin oikosulkuvirta  $I_k''$  on

$$I_k'' = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,1 \cdot 1150 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \text{ kV}} = 69,56 \text{ kA}$$



### 5.1.2 Mallinnus

Seuraavaksi mallinnetaan tilanne Neplanilla.



KUVA 2. Tapaus 1:n mallinnus Neplanilla.

Neplanista ei saa erikseen näytettäväksi pysyvän oikosulkutilan tehoa  $S_k$ , mutta koska oikosulkupisteen yläpuolella ei ole moottorikäyttöjä tai muita alkuoikosulkuvirtaan vaikuttavia tekijöitä, on ohjelman laskema alkuoikosulkuteho vertailukelpoinen käsin laskettuun pysyvän tilan oikosulkutehoon (taulukko 2).

Tässä tapauksessa mallinnus on pielessä, koska oikosulkutehot ja niitä vastaavat virrat ovat toisistaan riippumattomia (ikään kuin kumpikin olisi yksistään syöttämässä oikosulkutehoa). Lopputulos olisi oikean suuntainen, jos sekä tehot että vastaavasti virrat laskettaisiin oikosulkupisteessä yhteen.

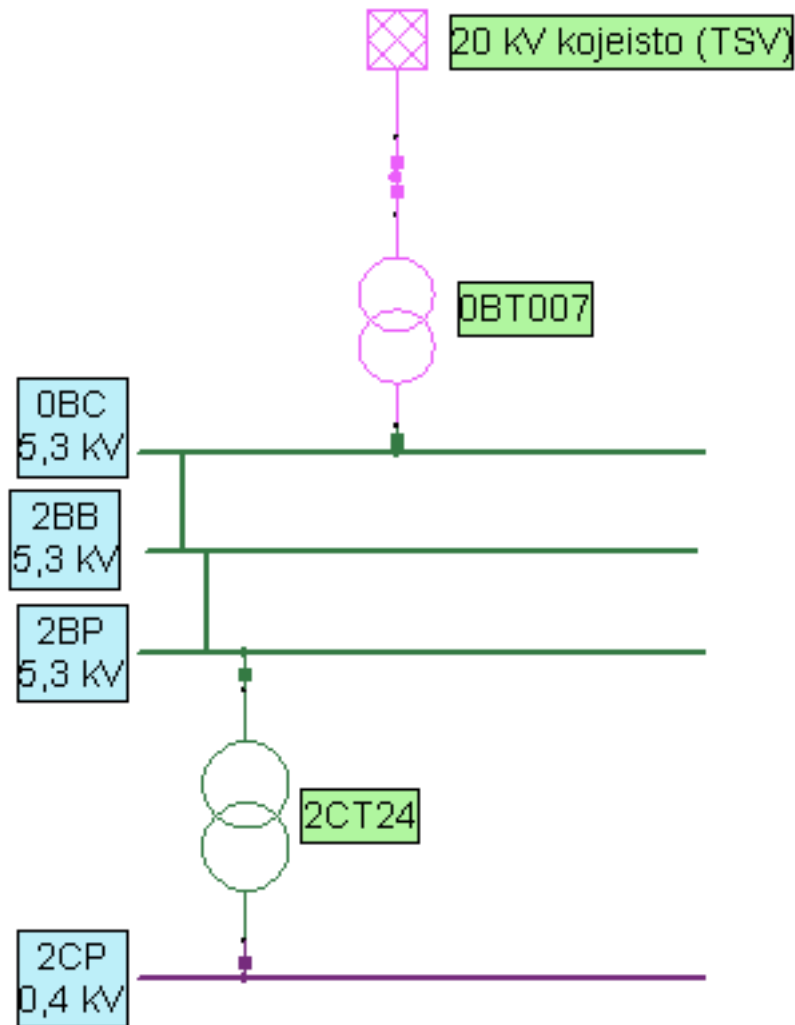
Simuloinnin mukaan oikosulkupisteen alkuoikosulkuvirta  $I_k'' = 45,98$  kA ilman generaattoria ja ominaisoikosulkuteho  $S_k = 836,23$  MVA ilman generaattoria. Tulos on huomattavasti pienempi kuin käsin laskettu. Mallinnus ei näytä tässä tapauksessa toimivan oikein, sillä Kuvassa 2 esitetyt oikosulkutehot ja niitä vastaavat virrat on laskettava yhteen.

TAULUKKO 2. Oikosulkuarvot ennen generaattoria.

1AT010, 10 kV	Oikosulkuteho $S_k$ (MVA)	Oikosulkuvirta $I_k''$ (kA)
Käsin laskettu	1150	69,56
Neplan	836,23	45,98

## 5.2 Tapaus 2

Lasketaan 2CP-kojeiston (turveasema) oikosulkuteho, kun NSL 2 moottorit ovat alhaalla (seisokki) ja syöttö tapahtuu NSL 0 kojeiston kautta, niin että turveaseman muuntaja 2CT24 on käytössä. Koska kyseessä on seisokkitilanne, ei oikosulkutehon laskentaa varten tarvitse ottaa huomioon verkon muita komponentteja (moottorit ja muuntajat). Kytchentätilanne kuvassa 4.



KUVA 4. Tapaus 2.

### 5.2.1 Laskenta käsin

Syöttävän verkon (20,5 kV) oikosulkuvirta  $I_k = 6,81$  kA, joten oikosulkuteho  $S_{k20}$  on

$$S_{k20} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20,5 \text{ kV} \cdot 6,81 \text{ kA} = 241,80 \text{ MVA}$$

Muuntajan 0BT007 nimellisteho  $S_n = 10$  MVA ja oikosulkuimpedanssi  $z_k = 6,6$  %, joten oikosulkuteho  $S_{kpt}$  on

$$S_{kpt} = \frac{S_n}{z_k} = \frac{10 \text{ MVA}}{0,066} = 151,52 \text{ MVA}$$

Laskentapisteestä tarkasteltuna muuntaja ja syöttävä verkko ovat sarjassa, joten oikosulkuteho  $S_{k0BC}$  0BC kiskostossa on

$$\frac{1}{S_{k0BC}} = \frac{1}{S_{k2o}} + \frac{1}{S_{kpt}} \rightarrow S_{k0BC} = 93,15 \text{ MVA}$$

0BC kiskoston nimellisjännite  $U_n = 5,3 \text{ kV}$ , tällöin oikosulkuvirta  $I_k''$  on

$$I_k'' = \frac{S_{k0BC}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,1 \cdot 93,15 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 5,3 \text{ kV}} = 11,16 \text{ kA}$$

Koska 0BC ja 2BP kojeiston välillä ei ole oikosulkutehoa lisääviä komponentteja tässä kytkentätilanteessa, voidaan kytkentä yksinkertaistaa kuvan 5 mukaiseksi ja siirtyä 2CP keskukseen vaikuttaviin oikosulkuarvoihin.

Muuntajan 2CT24 (5 kV/0,4 kV) nimellisteho  $S_n = 1,6 \text{ MVA}$  ja oikosulkuimpedanssi  $z_k = 5,7 \%$ , joten oikosulkuteho  $S_{kpt}$  on

$$S_{kpt} = \frac{S_n}{z_k} = \frac{1,6 \text{ MVA}}{0,057} = 28,07 \text{ MVA}$$

Lasketaan turveaseman 2CP kojeiston oikosulkuteho  $S_{kCP}$  lisäämällä muuntajan oikosulkuteho 0BC kojeiston oikosulkutehoon  $S_{k0BC}$ :

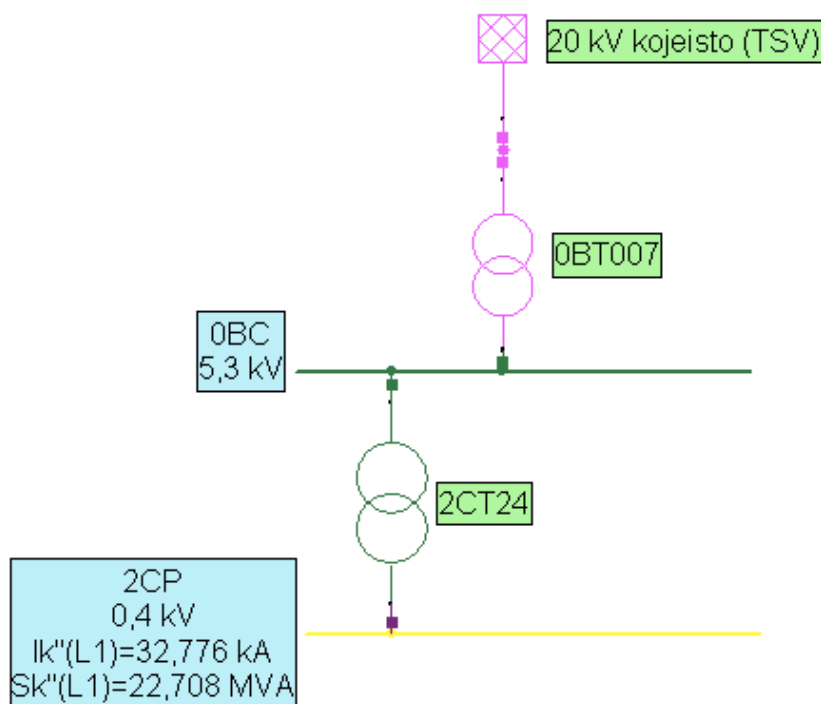
$$\frac{1}{S_{kCP}} = \frac{1}{S_{k0BC}} + \frac{1}{S_{kpt}} \rightarrow S_{kCP} = 21,57 \text{ MVA}$$

2CP kiskoston nimellisjännite  $U_n = 0,4 \text{ kV}$ , tällöin korjauskerroin on 1 ja oikosulkuvirta  $I_k''$  on

$$I_k'' = \frac{S_{kCP}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21,57 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 31,13 \text{ kA}$$

### 5.2.2 Mallinnus

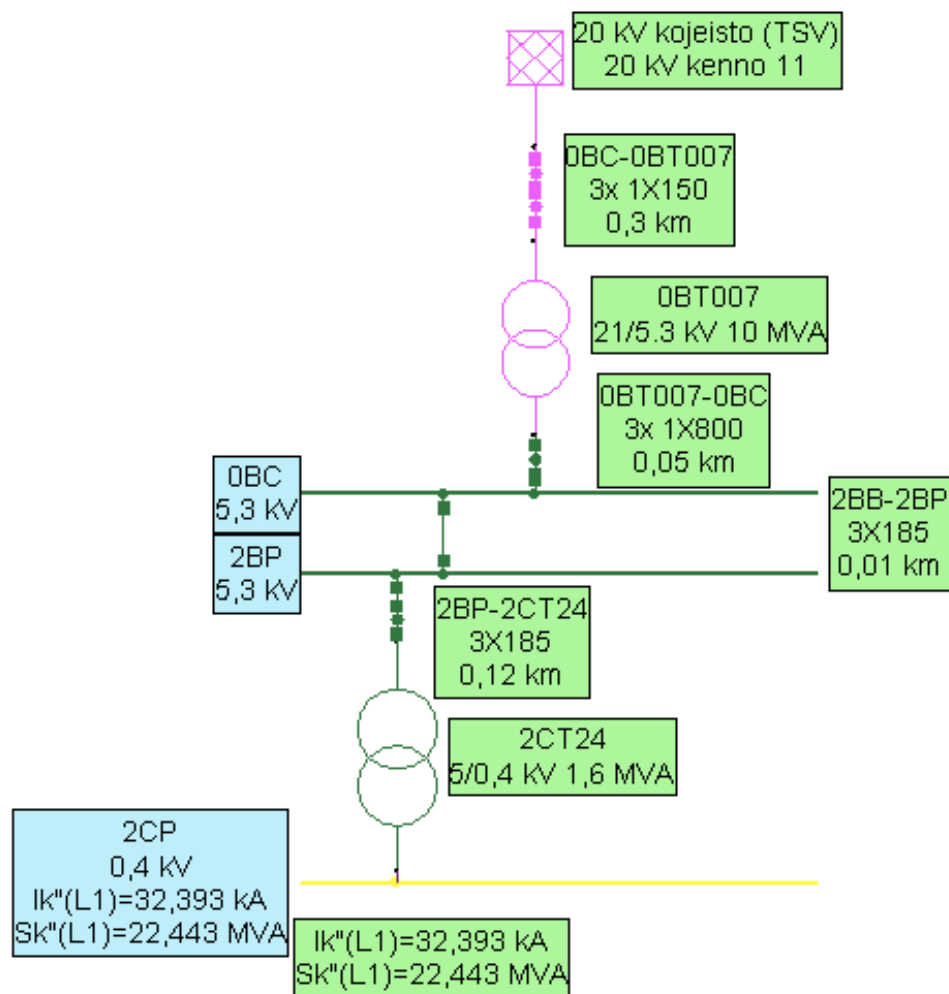
Seuraavaksi mallinnetaan sama tilanne Neplan ohjelmistolla. 0BC ja 2CP keskusten välillä ei ole tässä kytkentätilanteessa merkittäviä oikosulkutehoa nostavia komponentteja, joten voidaan kytkentäkuva yksinkertaistaa kuvan 5 mukaisesti, jotta tulosten esittäminen on selkeämpää.



KUVA 5. Tapaus 2 tulokset Neplan-ohjelmistolla.

Taulukosta 3 nähdään kuinka lähellä Neplanin tulokset ovat käsin laskettuja tuloksia.

Vertailukohteista Tapaus 2:ssa on pisin yksittäinen kaapeliveto, eli NSL 2 5 kV kojeistosta 2BP turveaseman muuntajalle 2CT24. Kuvasta 6 nähdään kuinka millaiset oikosulkuarvot saadaan kun simulointiin otetaan mukaan kaapelitiedot. Kaapelityypit ja niiden tekniset tiedot on valittu Neplanin mallitietokannasta Nexansin vastaavista kaapelityypeistä.



KUVA 6. Tapaus 2 oikosulkuarvot ja kaapelitiedot.

Kuvista 5 ja 6 voidaan todeta, että kaapelitiedot laskentaan lisättäessä ei niiden lisäämä vastus merkittävästi vaikuta ominaisoikosulkuarvoihin.

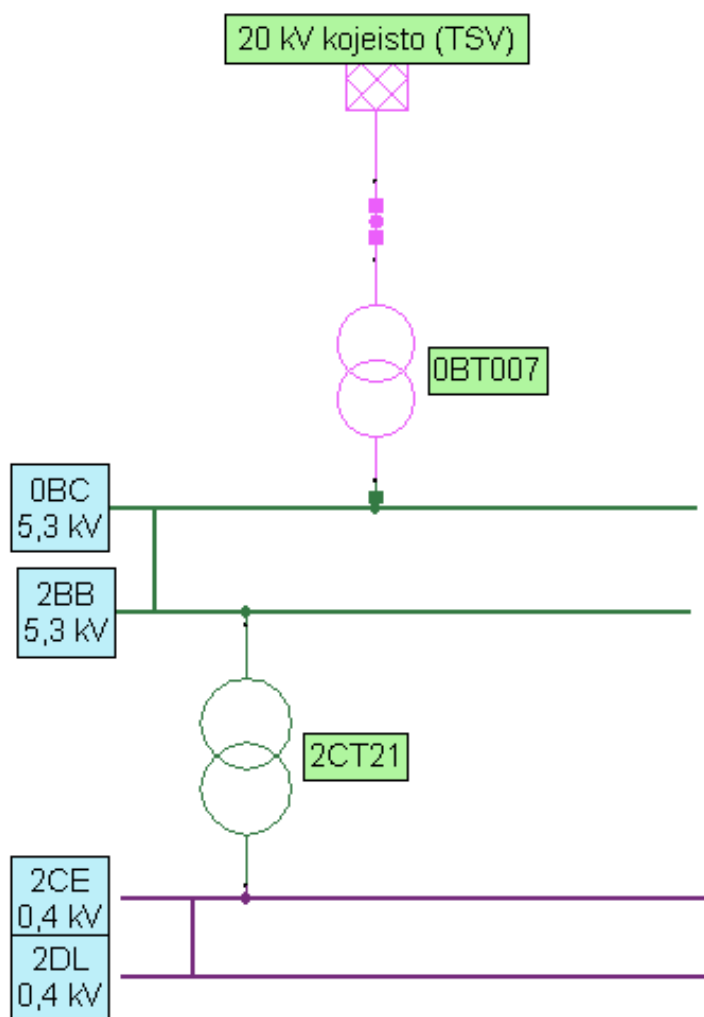
TAULUKKO 3. Tapaus 2 laskennan tulokset.

2CP	Oikosulkuteho $S_k$ (MVA)	Oikosulkuvirta $I_k''$ (kA)
Käsin laskettu	21,57	31,13
Neplan	22,71	32,78

### 5.3 Tapaus 3

Lasketaan 2DL kojeiston oikosulkuteho (sähkösuodatin), kun NSL 2 moottorit ovat alhaalla (seisokki) ja syöttö tapahtuu NSL 0 kojeiston kautta niin, että syöttö kulkee muuntajan 2CT21 ja kojeiston 2CE kautta. Koska kyseessä on seisokitilanne, ei oi-

kosulkutehon laskentaa varten tarvitse ottaa huomioon verkon muita komponentteja (moottorit ja muuntajat).



KUVA 7. Tapaus 3.

### 5.3.1 Laskenta käsin

Koska tapauksessa 2 laskettiin ominaisoikosulkuarvot NSL 0 kojeiston osalta, käytetään niitä tässä osiossa hyväksi muuntajalle 2CT21 asti. Kojekuston 0BC oikosulkuarvot:

$$I_k'' = 11,16 \text{ kA}$$

$$S_{k0BC} = 93,15 \text{ MVA}$$

Koska 2BB ja 2DL kojeiston välillä ei ole muuntajan 2CT21 lisäksi muita oikosulkutehoa lisääviä komponentteja tässä kytkentätilanteessa, voidaan kytkentä yksinkertaistaa kuvan 8 mukaiseksi ja siirtyä 2DL keskukseen vaikuttaviin oikosulkuarvoihin.

Muuntajan 2CT21 (5 kV/0,4 kV) nimellisteho  $S_n = 1 \text{ MVA}$  ja oikosulkuimpedanssi  $z_k = 6 \%$ , joten oikosulkuteho  $S_{kpt}$  on

$$S_{kpt} = \frac{S_n}{z_k} = \frac{1 \text{ MVA}}{0,06} = 16,67 \text{ MVA}$$

Lasketaan sähkösuodattimen eli 2DL kojeiston oikosulkuteho  $S_{kDL}$  lisäämällä muuntajan oikosulkuteho 0BC kojeiston oikosulkutehoon  $S_{k0BC}$ :

$$\frac{1}{S_{kDL}} = \frac{1}{S_{k0BC}} + \frac{1}{S_{kpt}} \rightarrow S_{kDL} = 14,14 \text{ MVA}$$

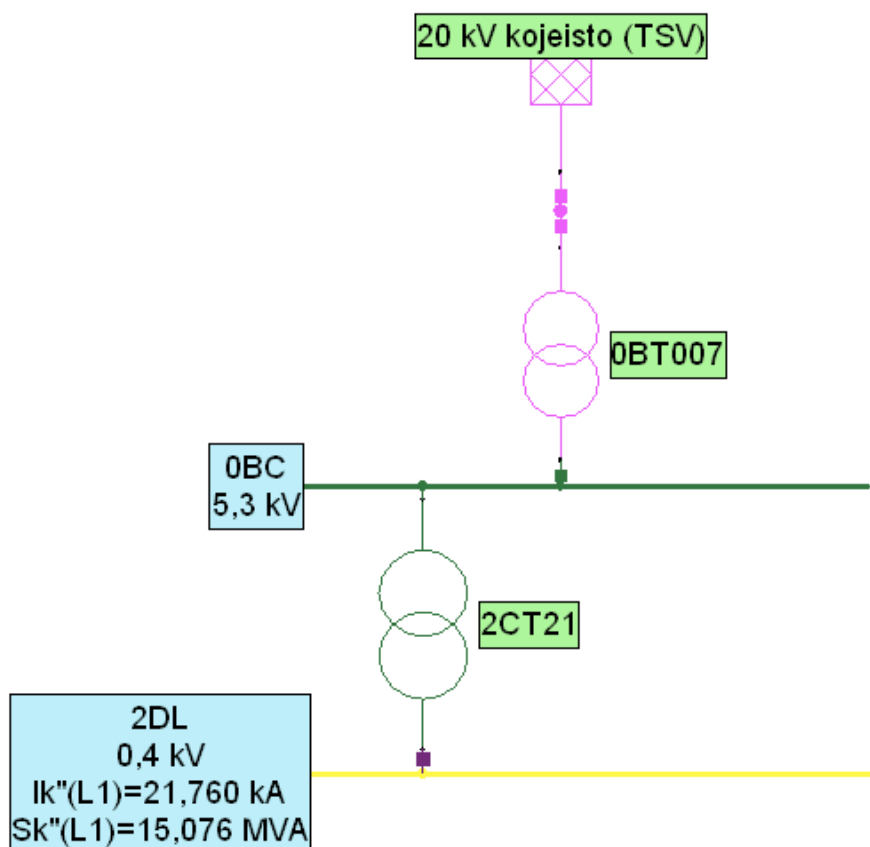
2DL kiskoston nimellisjännite  $U_n = 0,4 \text{ kV}$ , tällöin korjauskerroin on 1 ja oikosulkuvirta  $I_k''$  on

$$I_k'' = \frac{S_{kDL}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{14,14 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 20,41 \text{ kA}$$

### 5.3.2 Mallinnus

Seuraavaksi mallinnetaan sama tilanne Neplan ohjelmistolla. 0BC ja 2DL keskusten välillä ei ole tässä kytkentätilanteessa muuntajia lukuun ottamatta merkittäviä oikosulkutehoa nostavia komponentteja, joten voidaan kytkentäkuva yksinkertaistaa kuvan 8 mukaisesti, jotta tulosten esittäminen on selkeämpää.





KUVA 8. Tapaus 3 tulokset simuloituna.

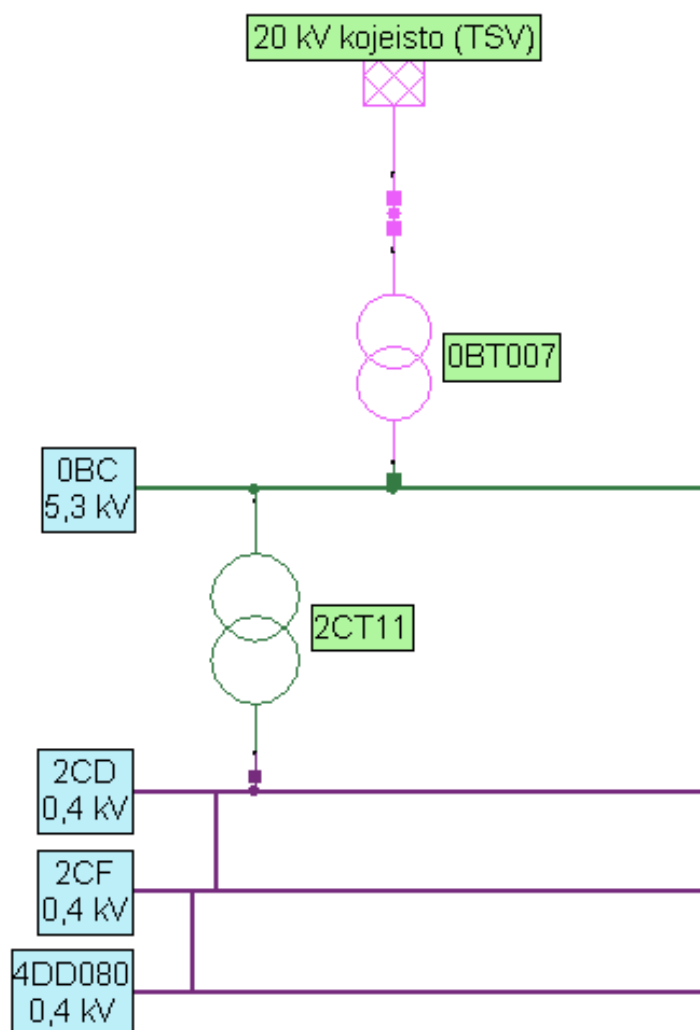
Taulukosta 4 nähdään kuinka lähellä Neplanin tulokset ovat käsin laskettuja tuloksia

TAULUKKO 4. Tapaus 3 laskennan tulokset.

2DL	Oikosulkuteho $S_k$ (MVA)	Oikosulkuvirta $I_k''$ (kA)
Käsin laskettu	14,14	20,41
Neplan	15,08	21,76

## 5.4 Tapaus 4

Lasketaan 4DD080 eli lastausaseman kojeiston oikosulkuarvot, kun NSL 2 moottorit ovat alhaalla (seisokki) ja syöttö tapahtuu NSL 0 kojeiston kautta niin, että syöttö kulkee muuntajan 2CT11 ja kojeistojen 2CD ja 2CF kautta. Koska kyseessä on seisokkitilanne, ei oikosulkutehon laskentaa varten tarvitse ottaa huomioon verkon muita komponentteja (moottorit ja muuntajat).



KUVA 9. Tapaus 4.

Tapauksen 4 kytkentä on verkon oikosulkulaskennan kannalta täysin samanlainen kuin Tapaus 3. Myös muuntaja 2CT11 on kilpiarvoiltaan identtinen muuntajan 2CT21 kanssa, joten voidaan todeta että tapauksen 4 oikosulkuarvot ovat samat kuin tapauksessa 3.

Täten kojeiston 4DD080 oikosulkuarvot ovat seuraavat:

$$S_{kCP} = 14,14 \text{ MVA}$$

$$I_k = 20,41 \text{ kA}$$

2CF – 4DD080 kojeiston välillä on kuitenkin pitkä kaapeliveto, joten katsotaan vaikuttaako se oleellisesti oikosulkuarvoihin kun kaapelin tiedot ovat seuraavat:

AMCMK 4x185

$l$ : 120 m

$r$ : 0,164  $\Omega/\text{km}$

$x$ : 0,0817  $\Omega/\text{km}$

Lasketaan kaapelin impedanssi.

$$Z_j = (r + jx)l = \left(0,164 \frac{\Omega}{\text{km}} + j0,0817 \frac{\Omega}{\text{km}}\right) \cdot 0,12 \text{ km} = 0,022 \Omega$$

Lasketaan kaapelin ominaisoikosulkuteho

$$S_{kj} = \frac{U^2}{Z_j} = \frac{0,4 \text{ kV}^2}{0,022 \Omega} = 7,27 \text{ MVA}$$

Tällöin kojeiston 4DD080 oikosulkuarvot ovat

$$\frac{1}{S_{k4DD080}} = \frac{1}{S_{kCP}} + \frac{1}{S_{kj}} \rightarrow S_{k4DD080} = 4,80 \text{ MVA}$$

Ja alkuoikosulkuvirta

$$I_k'' = \frac{S_{k4DD080}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4,8 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 6,93 \text{ kA}$$

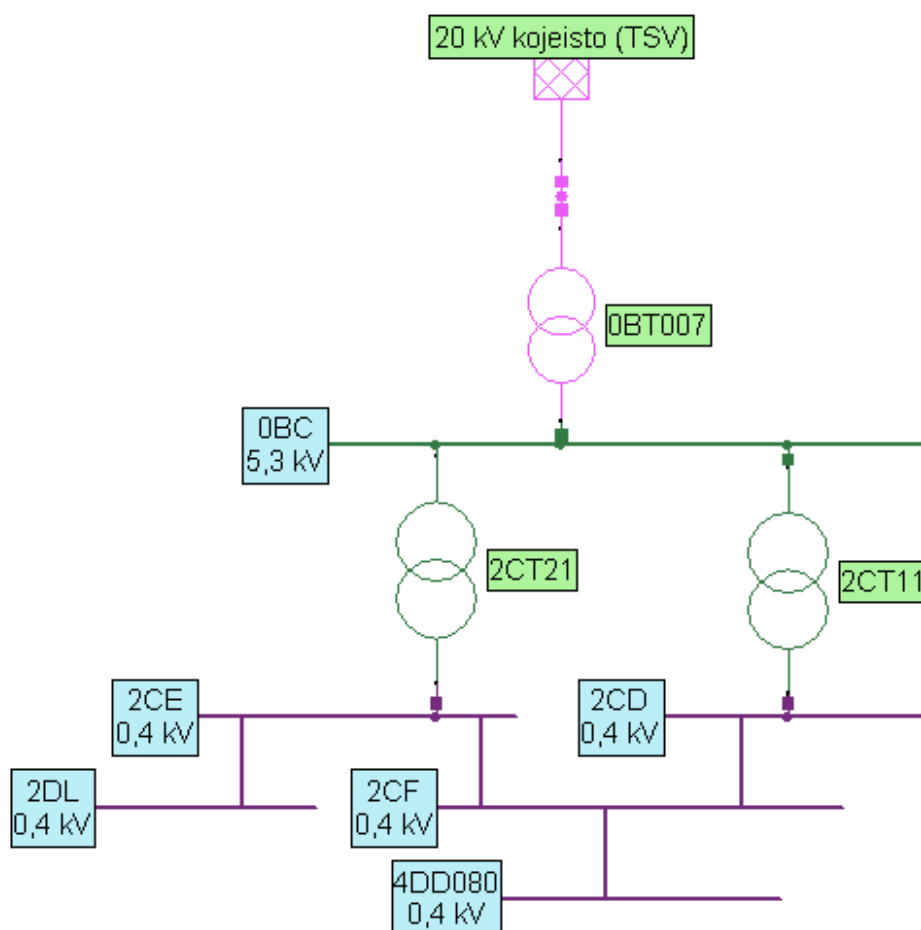
Taulukosta 5 nähdään kuinka lähellä Neplanin tulokset ovat käsin laskettuja tuloksia, sekä 400 V pitkän kaapelivedon huomattava vaikutus 4DD080 kojeiston oikosulkuarvoihin.

TAULUKKO 5. Tapaus 4 laskennan tulokset.

4DD080	Oikosulkuteho $S_k$ (MVA)	Oikosulkuvirta $I_k''$ (kA)
Käsin laskettu	14,14	20,41
Neplan	15,08	21,76
Kaapeli huomioitu	4,83	6,93

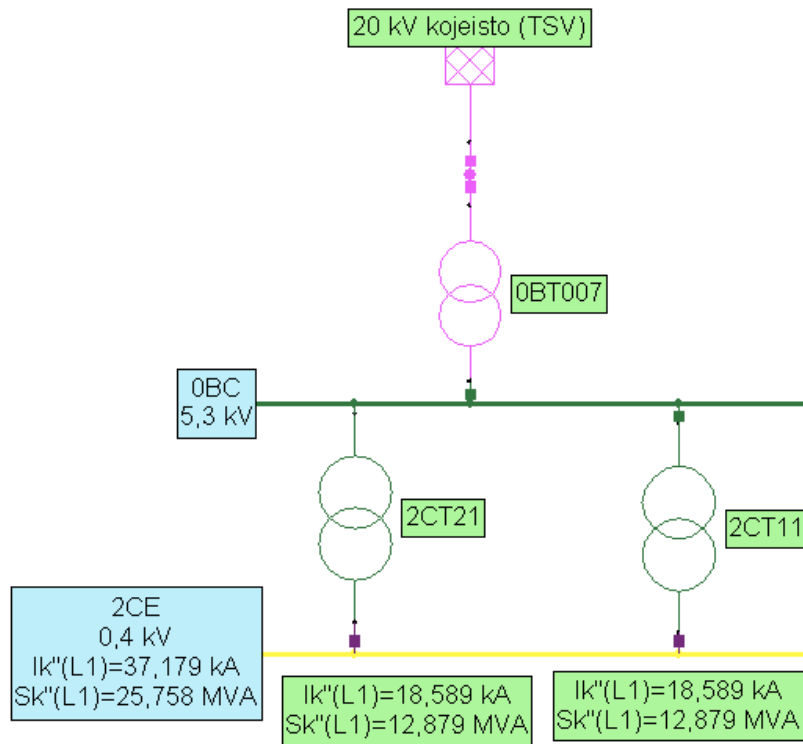
### 5.4.1 Muuntajien rinnankytkentä

Pääkaaviosta (liite 4) voidaan nähdä, että 2CE ja 2CD kojeiston välille on mahdollista muodostaa yhteys kojeiston 2CF kautta, kuten kuvassa 10.



KUVA 10. Muuntajien rinnankytkentä.

Ominaisoisikosulkutehon laskentaa varten ei 2CE ja 2CD kojeistojen jälkeen liitetyillä komponenteilla ole merkitystä, joten yksinkertaistetaan kaavio kuvan 11 mukaisesti.



KUVA 11. 2CE oikosulkuarvojen simulointi muuntajien rinnankytkennässä.

Tarkistelleen vielä käsin laskemalla muuntajien rinnankytkentää, kun vaikuttavat oikosulkutehot ovat seuraavat:

$$S_{k0BC} = 93,15 \text{ MVA}$$

$$S_{kpt2CT21} = 16,67 \text{ MVA}$$

$$S_{kpt2CT11} = 16,67 \text{ MVA}$$

Rinnan kytkettyjen muuntajien 2CT21 ja 2CT11 oikosulkuteho lasketaan seuraavasti:

$$S_{kpt} = S_{kpt2CT21} + S_{kpt2CT11} = 33,34 \text{ MVA}$$

Syöttävään verkkoon nähden muuntajien rinnankytkentä on sarjassa, joten voidaan oikosulkuteho kuvan 11 tilanteessa laskea seuraavasti:

$$\frac{1}{S_{kCE}} = \frac{1}{S_{k0BC}} + \frac{1}{S_{kpt}} \rightarrow S_{kCE} = 24,55 \text{ MVA}$$

Alkuoikosulkuvirta on tällöin

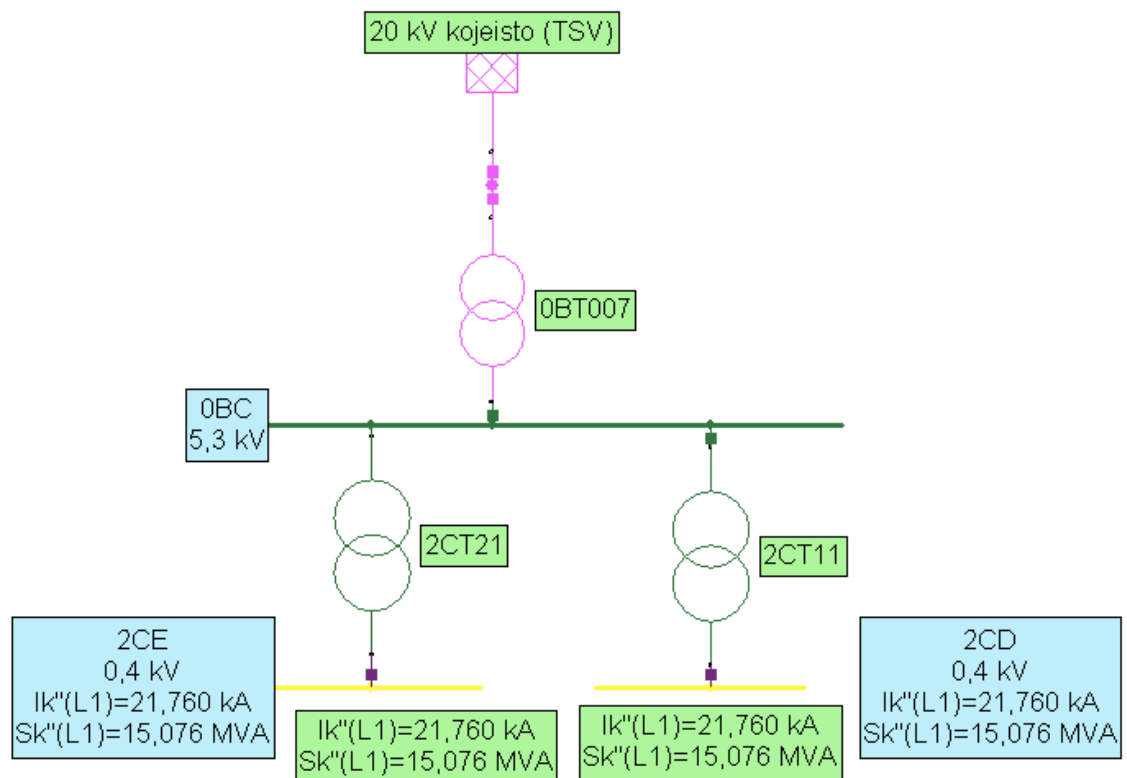
$$I_k'' = \frac{S_{kCE}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{24,55 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 35,43 \text{ kA}$$

Taulukosta 6 nähdään kuinka lähellä Neplanin tulokset ovat käsin laskettuja tuloksia, kun muuntajat ovat kytketty rinnan.

TAULUKKO 6. Tapaus 4, muuntajat rinnan.

2CE	Oikosulkuteho $S_k$ (MVA)	Oikosulkuvirta $I_k''$ (kA)
Käsin laskettu	24,55	35,43
Neplan	25,76	37,18

Kuvasta 11 nähdään kuinka oikosulkuarvot muuttuvat kun muuntajat 2CT21 ja 2CT22 ovat toiminnassa rinnakkain ja kojeistojen 2CE-2CD välinen kytkin kiinni. Kuvasta 12 taas nähdään miten oikosulkuarvot muuttuvat kun 2CE-CD kojeiston välinen kytkin on auki. Kytkimen ollessa auki, ei rinnalla oleva muuntaja vaikuta 2CE kojeiston oikosulkuarvoihin.



KUVA 12. 2CE ja 2CD kojeiston välinen yhteys auki.

## 6 LOPPUSANAT

Ominaisoikosulkulaskennalla saatiin helposti ja nopeasti laskettua suurinpiirteisiä oikosulkuarvoja erilaisille kytkentätilanteille. Neplanin käyttö osoittautui nopeaksi omak-sua ja toteuttaa hieman monimutkaisempienkin verkkojen kytkentöjä.

Ainakin oikosulkulaskennan simulointitulokset vastasivat hyvin käsin laskettuja tulok-sia. Tosin laskentamalleista tuli hyvin yksinkertaisia, koska esimerkiksi moottorikäyttö-jä ei tarvinnut seisokkitilanteen vuoksi ottaa huomioon. Kaapeleiden vaikutus näin ly-hyillä etäisyyksillä ei vaikuttanut merkittävästi tuloksiin, lukuun ottamatta tapausta 2. Simulointien tulokset yhdistettynä liitteessä 3.

Ominaisoikosulkulaskenta on helppo suorittaa käsin, mutta esim. tarkempien tulosten saamiseen haastavimmissa kytkennöissä ja käytöissä on helppo suositella simulointioh-jelman käyttöä. Pelkkään oikosulkulaskentaan ei ohjelmistoon kannata välttämättä in-vestoida, mutta jos on tarve muullekin kuin oikosulkuarvojen simuloinnille, on se han-kinta harkinnan arvoinen. Neplanin käyttöön ja hankintaan on Tampereen energiantuo-tannolle luovutettu ABB:n yhteystiedot mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten.

## LÄHTEET

Lehtonen, E. Suunnittelupäällikkö. Tampereen Energiantuotanto Oy. Haastattelu laskentamenetelmien käytöstä ja tarpeellisuudesta 26.4.2013.

Tampereen Sähkölaitos –yhtiöiden vuosiraportti 2012. Luettu 9.5.2013

<https://www.tampereensahkolaitos.fi/yritysjaymparisto/toimintamme/tunnusluvut/Sivut/default.aspx>

Huotari, K. & Partanen, J. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. LTTK, Sähkötekniikan osasto.

Willman, J. 15.5.2013 puhelinkeskustelu Neplan ohjelmistosta.

ABB. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita, luku 7: oikosulkusuojaus. Vaasa: Suomalaiset ABB-yhtiöt.

Aura, L. & Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY.

Neplan ohjelmiston esittely. Luettu 9.5.2013

[http://www.neplan.ch/html/e/e\\_electricity\\_packages\\_default.htm](http://www.neplan.ch/html/e/e_electricity_packages_default.htm)



## LIITTEET

### Liite 1. Muuntajien kilpitiedot

OBT007

1(5)

Valmistaja	Strömberg Oy
Piirustusnumero	
Toimittaja	Strömberg Oy
Kumuloitu käyttömäärä	
Viite	
Käynnistys/katkaisukerrat	
Nimellisjännite 1 [kV]	21.0±7x2 %
Nimellisjännite 2 [kV]	5.3
Nimellisjännite 3 [kV]	
Nimellisvirta 1 [A]	241-275-320
Nimellisvirta 2 [A]	1089
Nimellisvirta 3 [A]	
Nimellisteho 1 [MVA]	10.0
Nimellisteho 2 [MVA]	10.0
Nimellisteho 3 [MVA]	
KytKentäryhmä	YNd11
Jäähdytys	Ilma
Tyhjäk.häviöt [kW]	7,8
Öljyalaatu	
Kuormitushäviöt [kW]	31.0
Öljymäärä [kg]	5300
Oikos.impedanssi [%]	6.6
Kokonaispaino [kg]	20900
Jännitteensäätötapa	Käämikytkin
Kuljetuspaino [kg]	20300
Jännitteensäätö nim.jännite [kV]	5,25
Jännitteensäätökerroin	±7
Jännitteensäätöprosentti [%]	2
Nostett.osa [kg]	10500
Käämikytkinlajimerk.	UZELT 200/500
Ohjainlajimerkintä	BUF 3 ASEA
Ohjausjännite [V]	
Jännitteen yksikkö	

1AT010

2(5)

Valmistaja	Strömberg Oy
Piirustusnumero	
Toimittaja	Strömberg Oy
Kumuloitu käyttömäärä	
Viite	
Käynnistys/katkaisukerrat	
Nimellisjännite 1 [kV]	118,0±2x2,5 %
Nimellisjännite 2 [kV]	10.5
Nimellisjännite 3 [kV]	
Nimellisvirta 1 [A]	367
Nimellisvirta 2 [A]	4124
Nimellisvirta 3 [A]	
Nimellisteho 1 [MVA]	75
Nimellisteho 2 [MVA]	75
Nimellisteho 3 [MVA]	
Kytkentäryhmä	YNd11
Jäähdytys	Ilma
Tyhjäk.häviöt [kW]	55,6
Öljyalaatu	Esso Univolt N36
Kuormitushäviöt [kW]	221
Öljymäärä [kg]	21000
Oikos.impedanssi [%]	10,0
Kokonaispaino [kg]	91400
Jännitteensäätötapa	Väliottokytkin
Kuljetuspaino [kg]	80400
Jännitteensäätö nim.jännite [kV]	118
Jännitteensäätökerroin	±2
Jännitteensäätöprosentti [%]	2,5 %
Nostett.osa [kg]	56400
Käämikytkinlajimerk.	
Ohjainlajimerkintä	
Ohjausjännite [V]	
Jännitteen yksikkö	

2CT011

3(5)

Valmistaja	Strömberg Oy
Piirustusnumero	
Toimittaja	Strömberg Oy
Kumuloitu käyttömäärä	
Viite	
Käynnistys/katkaisukerrat	
Muuntajan ensiöpuolen nim.teho	1000
Muuntajan toisiopuolen nim.teho	1000
Nimellistehon yks.	kVA
Muuntajan ensiöpuolen nim.jännite	5000+-2x2,5 %
Muuntajan toisiopuolen nim.jännite	400
Nimellisjännitteen yks.	V
Muuntajan ensiöpuolen nim.virta	115.5
Muuntajan toisiopuolen nim.virta	1444
Nimellisvirran yks.	A
Muuntajalaji	Jakelumuuntaja
KytKentä	Dyn11
Oikosulkuimp. [%]	6.0
Oikosulunkesto	
Nim.häviöteho [kW]	9.0
Tyhjäkäyntiteho [kW]	1.46
Kok.paino [kg]	3600
Kulj.paino [kg]	3600
Muuntajaöljy	
Öljymäärä	880
Öljymäärän yks.	kg

2CT021

4(5)

Valmistaja	Strömberg Oy
Piirustusnumero	
Toimittaja	Strömberg Oy
Kumuloitu käyttömäärä	
Viite	
Käynnistys/katkaisukerrat	
Muuntajan ensiöpuolen nim.teho	1000
Muuntajan toisiopuolen nim.teho	1000
Nimellistehon yks.	kVA
Muuntajan ensiöpuolen nim.jännite	5000+-2x2,5 %
Muuntajan toisiopuolen nim.jännite	400
Nimellisjännitteen yks.	V
Muuntajan ensiöpuolen nim.virta	115.5
Muuntajan toisiopuolen nim.virta	1444
Nimellisvirran yks.	A
Muuntajalaji	Jakelumuuntaja
Kytkenä	Dyn11
Oikosulkuimp. [%]	6.0
Oikosulunkesto	
Nim.häviöteho [kW]	9.0
Tyhjäkäyntiteho [kW]	1.46
Kok.paino [kg]	3600
Kulj.paino [kg]	3600
Muuntajaöljy	
Öljymäärä	880
Öljymäärän yks.	kg

2CT024

5(5)

Valmistaja	Strömberg Oy
Piirustusnumero	
Toimittaja	Strömberg Oy
Kumuloitu käyttömäärä	
Viite	
Käynnistys/katkaisukerrat	
Muuntajan ensiöpuolen nim.teho	1600
Muuntajan toisiopuolen nim.teho	1600
Nimellistehon yks.	kVA
Muuntajan ensiöpuolen nim.jännite	5000+-2x2,5 %
Muuntajan toisiopuolen nim.jännite	400
Nimellisjännitteen yks.	V
Muuntajan ensiöpuolen nim.virta	184.8
Muuntajan toisiopuolen nim.virta	2310
Nimellisvirran yks.	A
Muuntajalaji	Jakelumuuntaja
KytKentä	Dyn11
Oikosulkuimp. [%]	5.7
Oikosulunkesto	
Nim.häviöteho [kW]	13.6
Tyhjäkäyntiteho [kW]	2.22
Kok.paino [kg]	4950
Kulj.paino [kg]	4950
Muuntajaöljy	
Öljymäärä	1280
Öljymäärän yks.	kg

## Liite 2. NSL 1 Höyryturbiinin generaattorin tekniset tiedot

GENERAATTORI NSL1 HÖYRYTURBIINI  
VEB BERGMANN-BORSIG (VÄLI 1)

1(2)

## 1. Nimellisarvot:

Nimellisjännite $U_n$	10,5 kV
Jännitealue (% nimellisjännitteestä)	-5 ... +10 %
Nimellisteho $S_n$	72,0 MVA
Nimellinen pätöteho $P_n$	65,0 MW
Nimellisvirta $I_n$	3955 A
Nimellistehokerroin $\cos \varphi_n$	0,9
Nimellispyörimisnopeus $n$	3000 1/min
Nimellinen magnetointijännite $U_{mn}$	200 V
Nimellinen magnetointivirta $I_{mn}$	1090 A

## 2. PQ-diagrammi (rajoittimet otettu huomioon)

*\*) Ohessa säätäjän parametrilista ja käyrät, joista löytyvät säädön ja rajoittimien aset-  
telut*

$$100\% P = 72 \text{ MW}$$

$$100\% Q = 72 \text{ MVA}$$

$$100\% I_n = 3955 \text{ A}$$

$$100\% I_{mn} = 1090 \text{ A}$$

## 3. Staattori- ja roottoripiirin rajoittimien asettelut

## 4. Tyhjäkäynti- ja oikosulkukäyrät

## 5. Sähköiset parametrit:

Staattoriresistanssi $R$	0,0033 ohm
--------------------------	------------

## Reaktanssit:

Pitkittäinen tahtireaktanssi $X_d$	220 %
Pitkittäinen tahtireaktanssi $X_d$ (kyllästynyt)	203 %
Poikittainen tahtireaktanssi $X_q$	213 %
Pitkittäinen muutosreaktanssi $X_d'$	29 %
Pitkittäinen muutosreaktanssi $X_d'$ (kyllästynyt)	~ 27 %
Poikittainen muutosreaktanssi $X_q'$	213 %
Pitkittäinen alkureaktanssi $X_d''$	17,5 %
Poikittainen alkureaktanssi $X_q''$	18 %
Vastareaktanssi $X_2$	18 %
Nollareaktanssi $X_0$	8,15 %
Staattorin hajareaktanssi $X_l$	17,4 %

## Aikavakiot:

Tasakomponentin aikavakio $T_a$	0,202 s
Pitkittäinen tyhjäkäyntimuutosaikavakio $T_{do}'$	7,95 s
Poikittainen tyhjäkäyntimuutosaikavakio $T_{qo}'$	_____ s
Pitkittäinen tyhjäkäyntialkuaikavakio $T_{do}''$	~ 0,027 s
Poikittainen tyhjäkäyntialkuaikavakio $T_{qo}''$	= $T_{do}''$
Pitkittäinen muutosaikavakio $T_d'$	0,616 s
Poikittainen muutosaikavakio $T_q'$	_____ s
Pitkittäinen alkuaikavakio $T_d''$	0,028 s
Poikittainen alkuaikavakio $T_q''$	= $T_d''$

2(2)

## 6. Mekaaniset parametrit:

Generaattorin + turbiinin hitausmomentti J	14240 kgm <sup>2</sup>
--	------------------------

## SÄÄTÖJÄRJESTELMÄ

## 7. Magnetointijärjestelmä:

Tyyppi: staattinen/harjaton/muu	staattinen
---------------------------------	------------

*\*) Ohessa säätäjän parametrilista ja käyrät, joista löytyvät säädön ja rajoittimien aset-  
telut*

Lohkokaavio asetteluineen (sekä mahdollinen kyllästyskäyrä)

Askelvastekokeen tulokset tai seuraavat arvot:

## 8. Jännitteensäädön lisästabiloointipiirin lohkokaavio asetteluineen

## 9. Turbiinisäätäjä:

Lohkokaavio asetteluineen tai

Askelvastekokeen tulokset	Ei vielä tehty uudelle gt/kombilaitokselle
---------------------------	--

10. Pyörimisnopeussäädön statiikka	_____ %
------------------------------------	---------

11. Loistehostatiikka	_____ %
-----------------------	---------

## KONEMUUNTAJA

Kytkentäryhmä ja maadoitustiedot	Ynd11
----------------------------------	-------

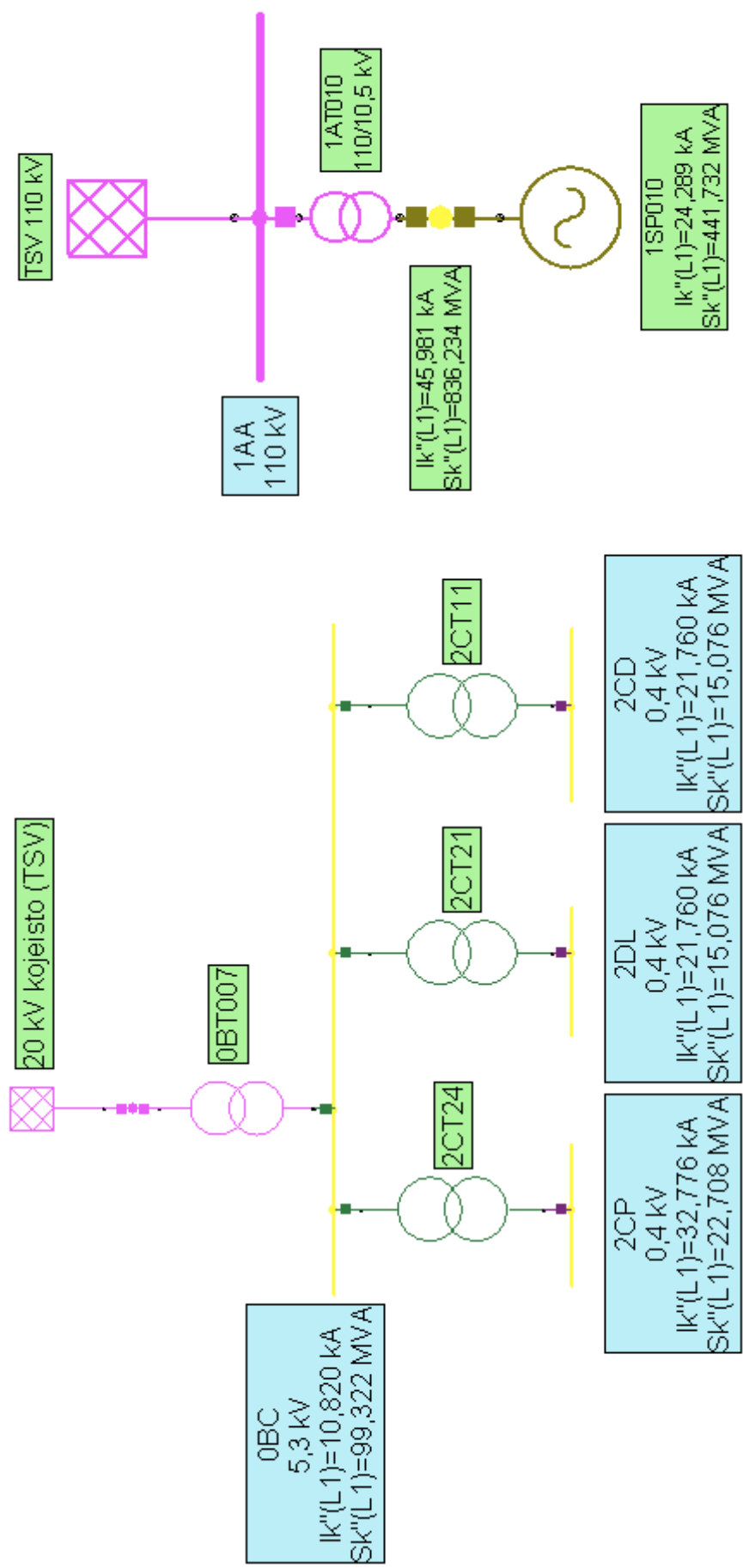
Nimellisteho S <sub>n</sub>	75 MVA
-----------------------------	--------

Nimellisjännitteet U <sub>n1</sub> (+väliottokytkin)/U <sub>n2</sub>	118 ± 2* 2,5% / 10,5 kV/kV
--	----------------------------

Oikosulkuresistanssi R <sub>k</sub>	0,29...0,32 %
-------------------------------------	---------------

Oikosulkuimpedanssi Z <sub>k</sub>	10,0...10,1 %
------------------------------------	---------------

Liite 3. Simuloinnin tulokset

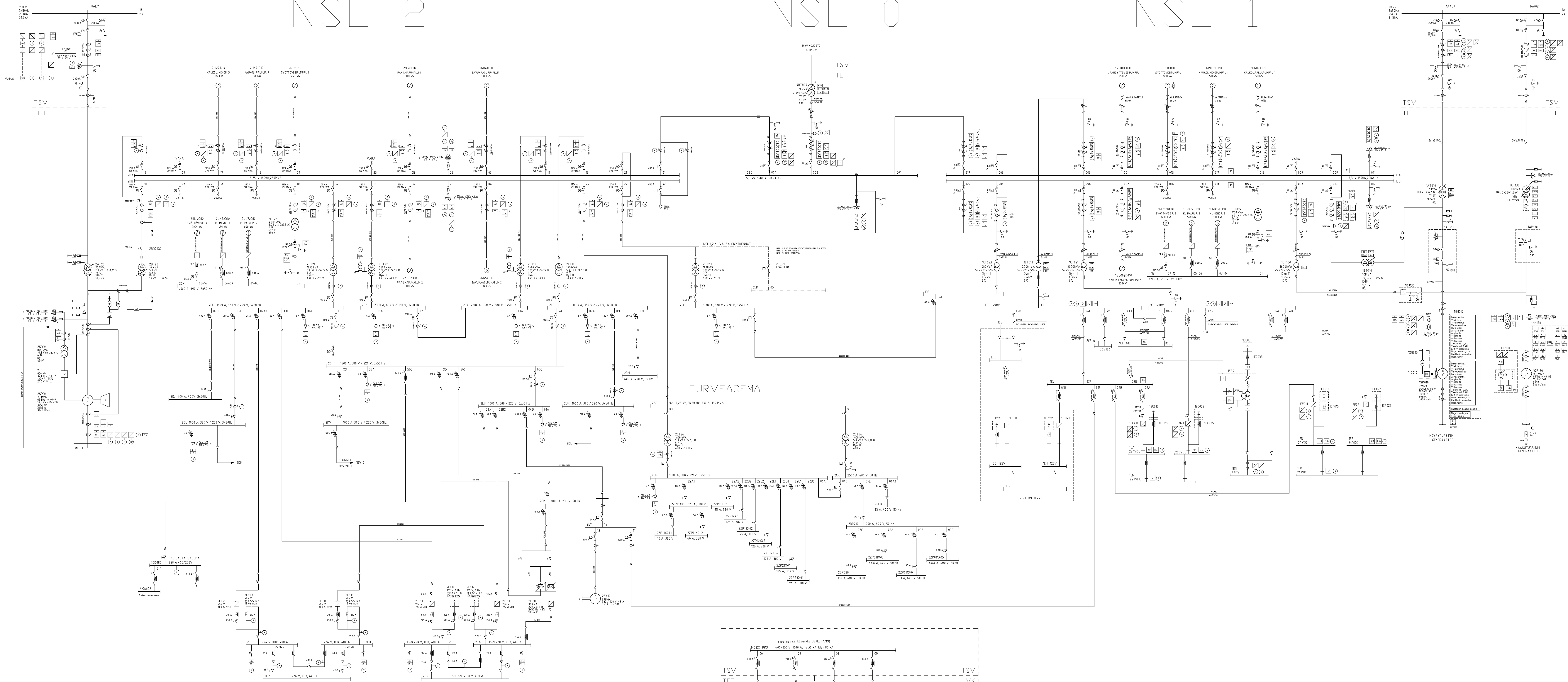




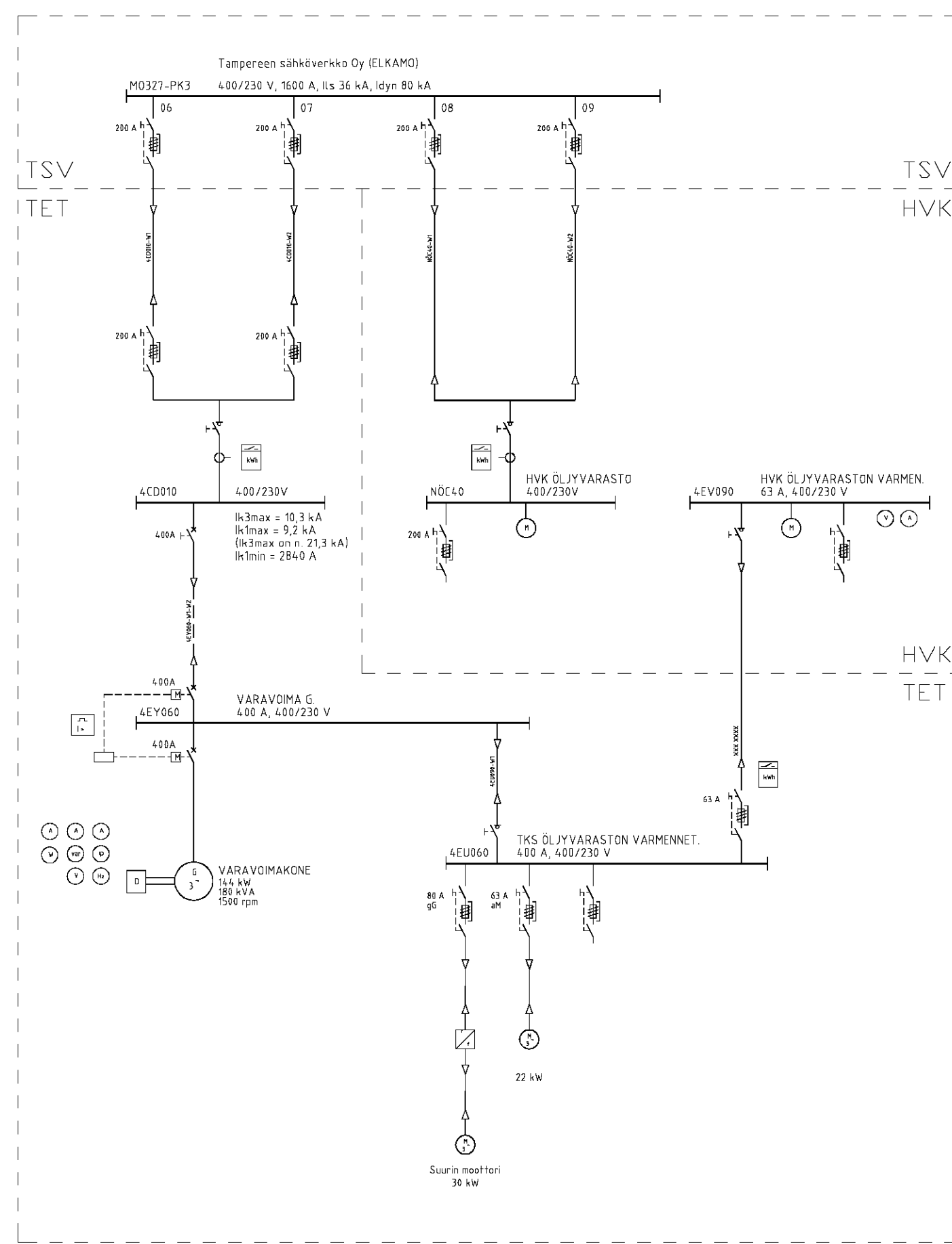
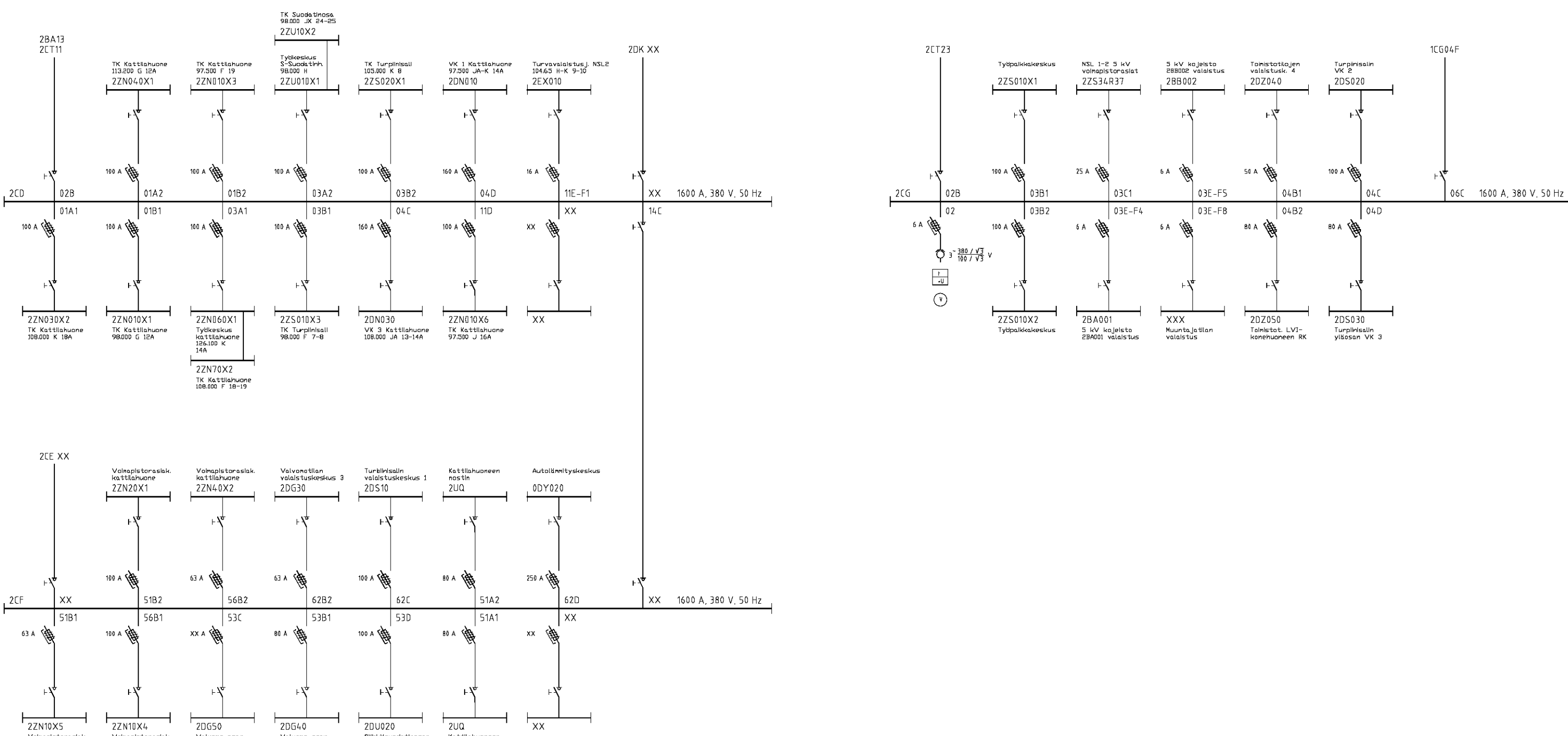
NSL 2

NSL 0

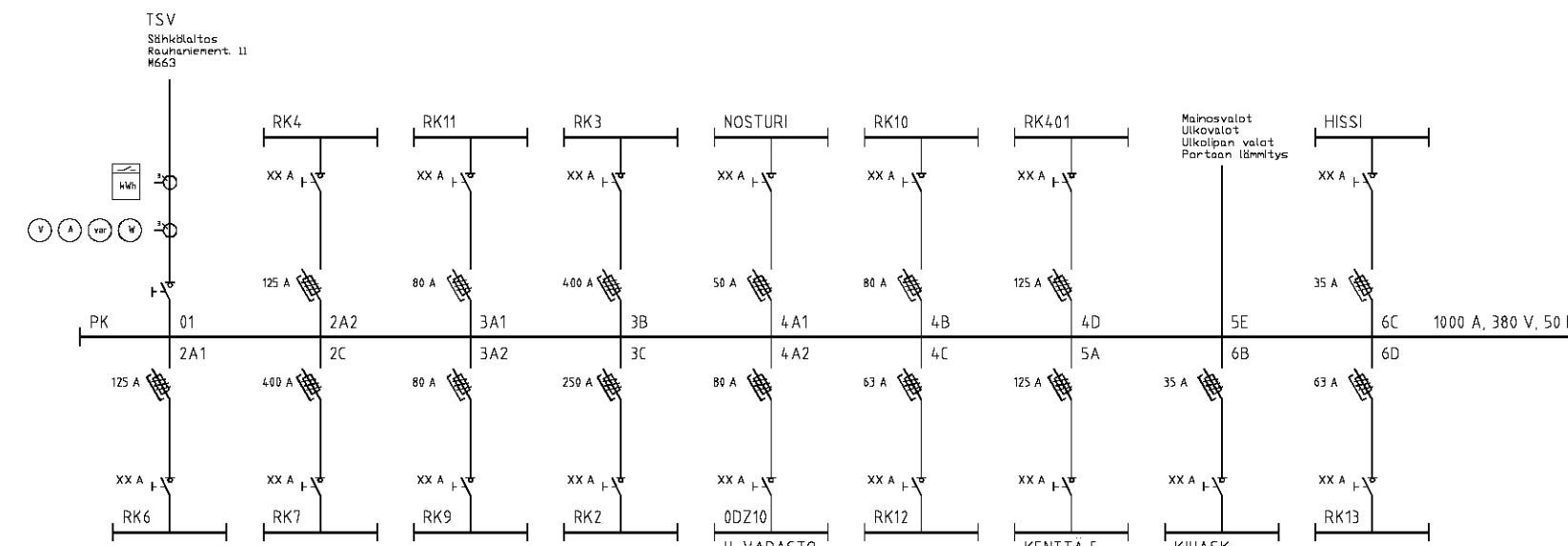
NSL 1



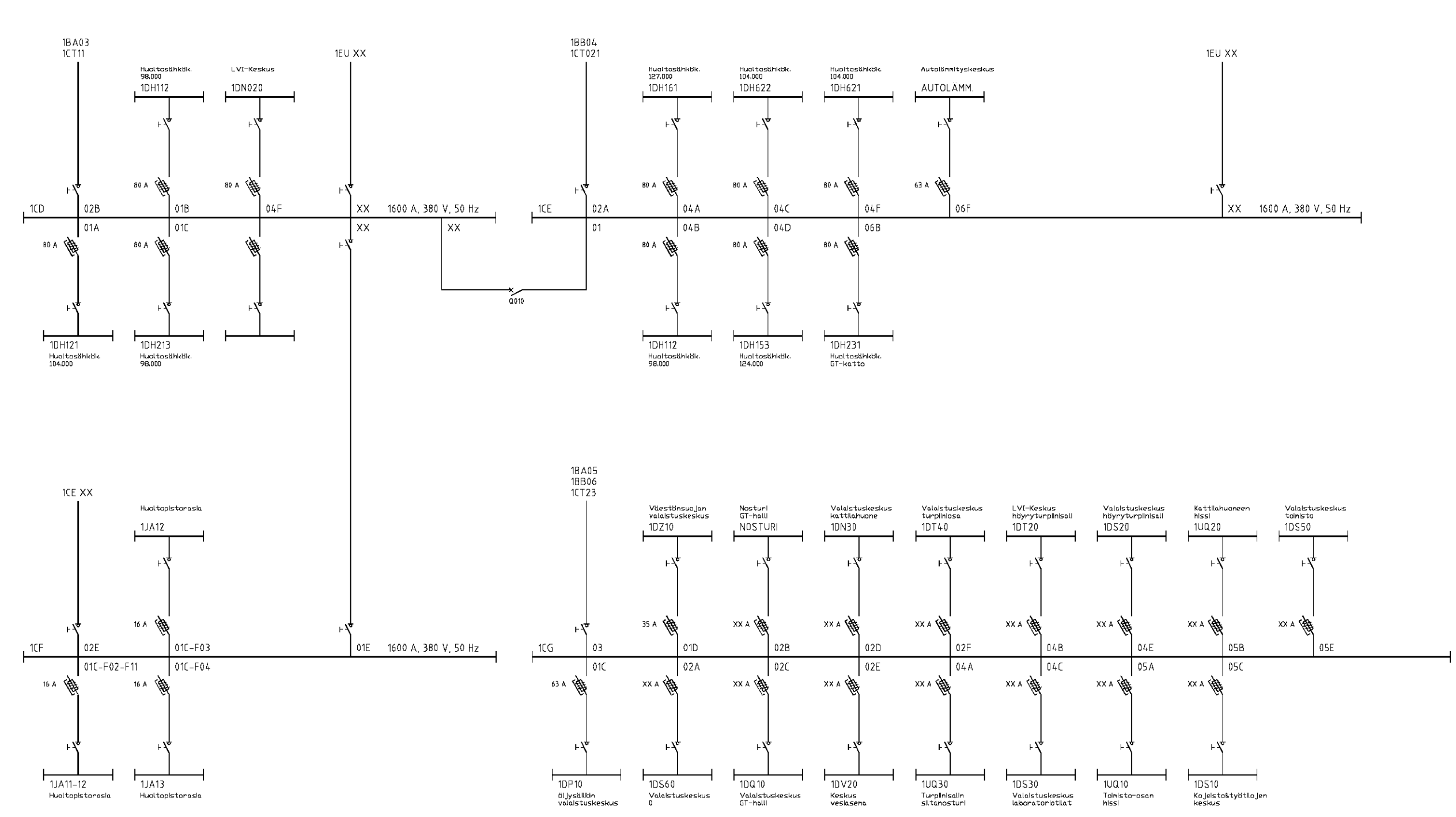
## TALOSAUKAISTUS NSL 2




## HUOLTORAKENNUS



## TALOSAUKAISTUS NSL 1



1		Päästämisen päiväys 2010				II Vapaus		29.9.2012	
Revisio		Lukut		Muutos		Suomi / Ilya		Päiväys	
								Merkki	
Tasavallanlaitteen nimi ja sijainti						Mittakaava			
						SUUR- JA KESKI- JA PIENJANNITE JAKELUN YLEISKAAVIO			
Tampereen SAHKÖLAITOS NSL 2000									
Tehdään n:o						XXXXXXX			
Suunnittelija						P. n. n.		Revisio	
Päivä						10.11.2010 / SSA		10.11.2010 / SSA	
Päästämisen päiväys						NSO-X100082		0	
Päästämisen päiväys									